

THESIS

MUNICH

1966

LANE MEDICAL LIBRARY 7
STANFORD UNIVERSITY
300 PASTEUR DRIVE
PALO ALTO, CALIF.

METHODISCHE BEITRÄGE
ZUR FORTLAUFENDEN MESSUNG
DER PERSPIRATIO INSENSIBILIS
KLEINER HAUTAREALE

Wolfgang Fricke



Digitized by the Internet Archive
in 2026

AUS DEM BALNEOLOGISCHEN INSTITUT

DER UNIVERSITÄT MÜNCHEN

Vorstand: Prof. Dr. H. v. Braunbehrens

Methodische Beiträge zur fortlaufenden Messung
der perspiratio insensibilis kleiner Hautareale.

INAUGURAL - DISSERTATION

zur Erlangung der Doktorwürde in der gesamten Medizin
verfaßt und einer Hohen Medizinischen Fakultät
der Ludwig-Maximilians-Universität zu München

vorgelegt von

Wolfgang Fricke

aus

Bochum

München 1966

Dissertations-Druckerei Charlotte Schön,
München 23, Belgradstr. 11, Tel. 361402

Mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät
der Universität München

Berichterstatter: Dipl.-Phys. K. Dirnagl

Mitberichterstatter: Prof. Dr. H. v. Braunbehrens

Dekan: Prof. Dr. R. Zenker

Tag der mündlichen Prüfung: 15. 2. 1966

<u>Inhaltsverzeichnis:</u>	<u>Seite:</u>
A.) <u>Problemstellung</u>	1
B.) <u>Methodik</u>	2 - 9
I.) Meßprinzip	2
II.) Meßvorgang	2
III.) Beschreibung der Einzelteile der Meßanlage	4
C.) <u>Ergebnisse</u>	10 - 25
I.) Überprüfung und Verbesserung der Apparatur	10
1.) Bau der Eichanlage	11
2.) Ermittlung der Eichkurve	13
3.) Versuchsablauf	14
4.) Schematische Versuchsanordnung	16
5.) Bau der Meßkammern	17
II.) Erweiterung der Anlage	18
III.) Physiologische Versuche zur Unter- suchung der perspiratio insensibilis	21
1.) Die Abhängigkeit der angezeigten Hautwasserabgabe-Werte von:	21
a.) der Strömungsgeschwindigkeit und	
b.) der Größe der Meßkammer	
2.) Messung der normalen Haut- wasserabgabe	22
3.) Umrechnung von Dampfdruck (Torr) auf absol. Feuchte ($\text{g/m}^2 \times \text{h}$)	24
4.) Vergleichswerte	25

	<u>Seite:</u>
D.) <u>Diskussion</u>	25 - 34
I.) Gegenüberstellung verschiedener Meßmethoden	25
II.) Kritik des angewandten Meßprin- zipes in Hinsicht auf:	
1.) die starke Verzögerung der Anzeige, bedingt durch das träge Einstellen der Feuchte- messer,	26
2.) die Störung des Mikroklimas über der Meßstelle durch die Ventilation, sowie	28
3.) die schwierige Konditionierung der Ventilationsluft.	30
III.) Kritik anderer Meßprinzipien.	30
IV.) Erweiterungsmöglichkeiten	33
E.) <u>Zusammenfassung</u>	36
F.) <u>Literaturverzeichnis</u>	37 - 40
G.) <u>Lebenslauf</u>	42

A.) Problemstellung

Der Anteil der perspiratio insensibilis an der Gesamtwärmeabgabe des Körpers beträgt im thermoindifferenten Bereich bei 50 % relativer Luftfeuchtigkeit und geringen Windgeschwindigkeiten etwa 20 %. Damit kommt ihr nicht die Bedeutung zu wie etwa der Wärmeleitung und -strahlung, doch bei einer vollständigen Bilanz aller beteiligten Faktoren kann sie nicht vernachlässigt werden.

Während in der Erforschung der funktionellen Vorgänge bei der peripheren Durchblutung große Fortschritte gemacht und damit die mit der Wärmeleitung und -strahlung verbundenen Probleme aufgeklärt wurden, ist bis heute der Mechanismus der Hautwasserabgabe immer noch umstritten. Obwohl die beiden extremen Anschauungen -hier der reine Diffusionsvorgang (1,2), dort allein die insensible Schweißsekretion (3)- widerlegt wurden und man nachgewiesen hat, daß beide Faktoren eine Rolle spielen (4,5), ist der jeweilige Anteil noch nicht endgültig geklärt.

Doch auch die absoluten Werte der Hautwasserabgabe weichen bei den verschiedenen Autoren teilweise stark voneinander ab: eine genaue Messung und Registrierung scheitert hauptsächlich an methodischen Schwierigkeiten.

Diese Arbeit befaßt sich mit Verbesserungen und Prüfungen an einem Gerät, das zur Lösung der Probleme beitragen soll.

B.) Methodik

I.) Meßprinzip

Der grundlegende Teil der Meßanlage ist ein Infrarot-Gasanalysator (URAS I der Fa. Hartmann & Braun AG., Frankfurt, in der Ausführung mit strömendem Vergleichsgas). Dieses Gerät wurde in einigen Teilen abgewandelt und den besonderen Erfordernissen bei der Ermittlung der perspiratio insensibilis angepaßt.

Der URAS I dient zur selektiven Messung der Konzentration einzelner Gaskomponenten und Dämpfe, die im infraroten Wellenbereich Strahlungsenergie absorbieren. Jedes Gas mit Ausnahme der Edelgase und d e r zweiatomigen Gase, die aus gleichen Atomen aufgebaut sind, z.B. H_2 , N_2 , O_2 , hat spezifische Absorptionsbanden im Infraroten, und zwar im Spektralbereich von $2-15\mu$.

Die Absorption und damit der Meßeffect richten sich nach der Konzentration der Meßkomponenten. Diese wird hier durch die Raumluft dargestellt, welche durch die perspiratio insensibilis mit Wasserdampf angereichert wurde. Eine Konzentrationsänderung ist also einer Änderung der abgegebenen Wasserdampfmenge und somit einer Änderung der Hautwasserabgabe gleichzusetzen.

Das Meßprinzip beruht darauf, daß die Dampfdruckdifferenz zwischen der Meßkomponenten und einem Vergleichsgas bekannter Konzentration, hier der normalen Luft im Versuchsraum, gemessen wird und daraus auf die Konzentration des Meßgases geschlossen wird.

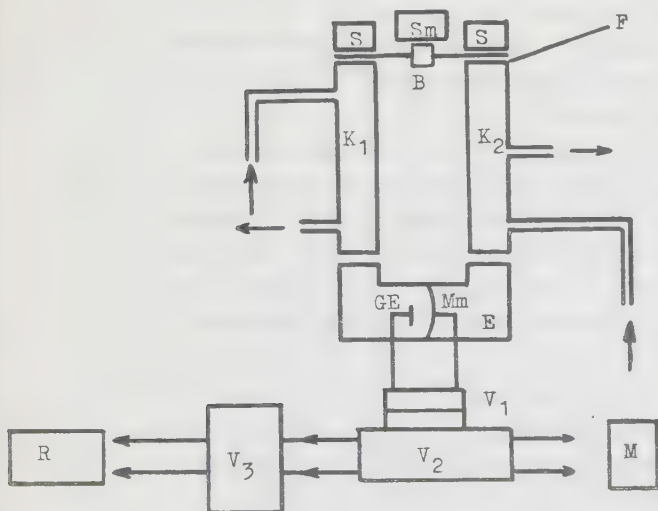
II.) Der Meßvorgang

(vgl. S. 3, schematisiertes Schnittbild der Meßanlage)

Die Gase durchströmen die beiden Küvetten K_1 und K_2 , von denen K_1 für die Meßkomponente und K_2 für die Raumluft zuständig ist. Je nach Wasserdampfkonzentration

der beiden Gase wird mehr oder weniger Energie der von den Strahlern S ausgehenden Infrarotstrahlen in den Küvetten absorbiert. Die Differenz der verbleibenden Energie der beiden Strahlengänge, die ihrer Druckdifferenz entspricht, wird vom Empfänger E erfaßt und über ein Verstärkersystem V_{1-3} am Registriergerät R angezeigt. Parallel dazu wird durch das gleiche Gerät die Hauttemperatur der Meßstelle registriert.

Die von der Anlage benötigte Spannung wird über einen magnetischen Konstanthalter dem Netz entnommen.



Schematisiertes Schnittbild der Meßanlage

III.) Beschreibung der Einzelteile der Meßanlage

Strahler S: Die beiden Strahler bestehen aus je einem Parabolspiegel, in dessen Brennpunkt als Strahlungsquelle eine Chrom-Nickel-Wendel montiert ist. Der Heizstrom der Wendel wird von einem Eisenwasserstoffwiderstand stabilisiert. Das Strahlenfenster F besteht -wie sämtliche in den Strahlengängen liegende Fenster- aus Flußspat, der für den hier verwendeten Spektralbereich durchlässig ist. Es ist in Aluminiumringe eingekittet. Beide Strahlengänge werden periodisch und gleichzeitig durch ein umlaufendes, zweiflügeliges

Blendenrad B, das von einem Synchronmotor Sm angetrieben wird, unterbrochen. Die Unterbrechung erfolgt bei beiden Strahlengängen in der gleichen Phase. Sie bewirkt, daß etwaige auf den Empfänger wirkende Störungseinflüsse ausgeschaltet und Nullpunktswanderungen des Verstärkersystems vermieden werden.

Küvetten K₁ und K₂: Es handelt sich um innen vergoldete Glasrohre von 10 cm Länge und einem Durchmesser von 2,4 cm, auf welche die Strahlenfenster mit Polyesterharz gekittet sind. Die zu- und abführenden Schlauchtüllen sind mit Araldit vakuumdicht eingekittet. Der Verlauf der beiden Luftströme ist aus der Zeichnung auf S. 3 ersichtlich.

Empfänger E: Er besteht aus zwei luftdicht abgeschlossenen, volumengleichen Kammern, die durch eine Metallmembran Mm voneinander getrennt sind. Eine Kapillare verbindet beide zum statischen Druckausgleich.

Da die Infrarotstrahlung zur Messung der in den Küvetten erfolgten Absorption der Strahlungsenergie nicht spektral zerlegt wird, muß der Empfänger selektiv für die Absorptionsbanden der Meßkomponenten, hier Wasserdampf, empfindlich sein. Das wird durch die Füllung der Kammern mit Ammoniak erreicht. Denn da

sich im verwendeten Spektralbereich die Banden des NH_3 größtenteils mit denen des Wasserdampfes überlappen, wird nur die Strahlungsenergie der charakteristischen Banden absorbiert.

Die periodisch absorbierte Energie -die Periodizität wird durch das Blendenrad erreicht- bewirkt ebensolche Temperatur- und Druckschwankungen in den beiden Kammern, deren Differenz Schwingungen der gespannten Membran M_m hervorruft. Der Membran gegenüber befindet sich eine feste Gegenelektrode GE. Beide zusammen bilden einen Membrankondensator, der an einer Gleichstromquelle liegt. Die Membranschwingungen verursachen Kapazitätsschwankungen, welche einen periodischen Ladestrom hervorrufen. Dieser erzeugt eine Wechselspannung, die -nach Gleichrichtung und Verstärkung im Verstärkersystem V_{1-3} - am Registriergerät angezeigt wird.

Das Verstärkersystem besteht aus einem Wechselstromverstärker, auf den ein Kompensationsverstärker folgt. Ersterer wird vom Vorverstärker V_1 und vom Hauptverstärker V_2 gebildet. Dieser ist ein stark gegengekoppelter, in einer Stufe mit einem selektiven Gegenkopplungsfilter versehener RC-Verstärker. Die Anodenspannungen sind elektronisch stabilisiert.

Die durch den Membrankondensator des Empfängers erzeugte Wechselspannung wird verstärkt und am Ausgang gleichgerichtet.

An den Hauptverstärker direkt angeschlossen befindet sich im URAS selbst ein Anzeigeinstrument M. Es ist ständig in den Meßstromkreis geschaltet und dient zu dessen Überwachung. Bei der Registrierung der Hautwasserabgabe eignet er sich aber nur als Kontrollinstrument.

Deshalb wurde der URAS unter Zwischenschaltung eines Kompensationsverstärkers V_3 mit einem Linienschreiber R

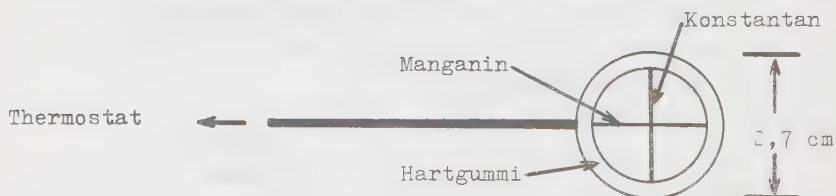
als Registriergerät gekoppelt.

Die im folgenden beschriebenen Geräte sind keine Teile des URAS I.

Kompensationsverstärker: (Fa. Gossen & Co., Erlangen)

Dieses Gerät eignet sich besonders zur Verstärkung kleiner Gleichspannungen. Es arbeitet sehr verzögerungs- und verzerrungsfrei nach einem lichtelektrischen Kompensationsverfahren, dessen Grundsaltung von Lindeck-Rothe angegeben wurde. Der Netzteil ist magnetisch stabilisiert. Durch einen Umschalter kann der Widerstand im Kompensationskreis auf fünf Meßbereiche eingestellt werden, die folgendes Verhältnis zueinander haben: 1:3:10:30:100. Damit ist gesichert, daß für jede Größe der perspiratio insensibilis ein Meßbereich vorliegt. Das hat den Vorteil, daß man nicht gezwungen ist, extreme Werte auf Kosten der Meßgenauigkeit in einem einzigen Schreibmaßstab unterzubringen.

Die Messung der Hauttemperatur erfolgt auf thermoelektrischem Wege durch Konstantan-Manganin-Elemente in Form von zwei Temperaturfühlern.



Das Gegenelement wird von einem Thermostaten gebildet, der konstant auf $35,3^{\circ}\text{C}$ gehalten wird. Geeicht wurde mit Hilfe von genauen Quecksilberthermometern in Wasser.

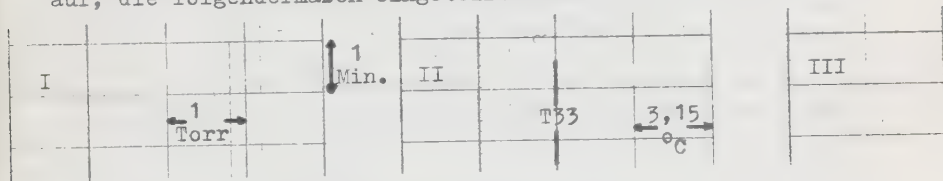
Beiden Fühlern ist jeweils ein Kompensationsverstärker vorgeschaltet, der mit dem Registriergerät gekoppelt ist. Durch Ausnutzung der fünf Meßbereiche kann jede anfallende Temperatur erfaßt werden.

Die Fühler werden mit schmalen Gummibändern neben der

Meßkammer auf der Haut befestigt (vgl. schematische Versuchsanordnung S. 16)

Registriergerät: Zur Registrierung der Hautwasserabgabe wurde ein Gleichstrom-Dreilinienschreiber (Fa. Siemens & Halske AG., Wernerwerk für Meßtechnik) an den Ausgang der Kompensationsverstärker gelegt. Bei diesem Gerät beträgt die Reproduzierbarkeit des Meßwertes bei Berücksichtigung aller Größen, die einen Einfluß auf das Meßergebnis haben, 2 % des Meßbereichendwertes. Diese Anzeigegenauigkeit wird gut den zu stellenden Anforderungen gerecht.

Der Papiermeßstreifen weist drei gleiche Abschnitte auf, die folgendermaßen eingeteilt sind:



Abschnitt I: dient zur Registrierung der jeweiligen Hautwasserabgabe in Torr. (Umrechnung von Torr in gebräuchlichere Größen s. S. 24)
 Ein großer Skalenteil (Skt.) = 1 Torr.
 Ein kleiner Skt. = 0,2 "

Abschnitt II: darauf wird -zeitlich parallel zur Anzeige der perspiratio insensibilis- die Hauttemperatur der Meßstelle registriert. Beide Faktoren können also jederzeit miteinander verglichen werden. Die mit T33 bezeichnete Linie entspricht einer Temperatur von 33°C.
 Ein großer Skt. = 3,15°C
 Ein kleiner Skt. = 0,63°C.

Abschnitt III: entspricht Abschnitt II. D.h., es kann entweder gleichzeitig die Hauttemperatur

von zwei verschiedenen Meßstellen registriert werden oder es wird -bei nur einer Meßstelle- über den frei werdenden Fühler die Raumtemperatur angezeigt. (Vgl. Erweiterung der Anlage S. 18)

Diese Unterteilung der Abschnitte I-III bezieht sich nur auf den Meßbereich IV der Kompensationsverstärker, der jedoch für die meisten Versuche ausreicht. Wenn auf einen anderen Bereich umgeschaltet wird, ist beim Ablesen der Hautwasserabgabe und der Temperaturen natürlich der Umrechnungsfaktor zu berücksichtigen.

Die Geschwindigkeit des Papiervorschubes kann für besondere Messungen geändert werden. Normalerweise entspricht der Abstand der waagrechten Linien voneinander einem Zeitraum von einer Minute.

Die Registrierkurven sind von Meßbeginn an sichtbar, so daß etwaige Störungen in der Anlage sofort angezeigt werden.

Klimaanlage: Für konstante klimatische Verhältnisse im Versuchsraum sorgte ein vollautomatisches Raumklimagerät (Fa. Ate, Alfred Teves, Frankfurt, Modell KMF 1/a).

Der mögliche Schwankungsbereich dieser Anlage beträgt für die rel. Luftfeuchtigkeit $\pm 5\%$ und für die Temperatur $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$.

Trotz dieser geringen Streuungsbreite zeigte sich schon bei den Vorversuchen, daß die gemessenen Werte nicht durch eine fortlaufend gleichmäßige, sondern durch eine leicht gezackte Linie angezeigt wurden. Als Ursache stellten sich geringe Temperatur- und Feuchtigkeitsschwankungen, bedingt durch die Versuchs- und Aufsichtspersonen, sowie Luftbewegungen an den Ansaugstutzen der Aquariumsdurchlüfter heraus.

Deshalb wurde die zur Durchführung der Versuche benötigte Luft nicht mehr direkt dem Raum entnommen, sondern vorher in zwei Plastik-Luftsäcke gepumpt. (Vgl. schemat.

Versuchsanordnung S. 16 , in die jedoch nur ein Luft-sack eingezeichnet ist.) Diese waren nach einem speziellen Verfahren aus Hostaphan-Folie zusammen-geschweißt worden, ca. 165 x 70 cm groß, faßten etwa 280 l Luft und waren durch einen Dreiwegehahn mitein-ander verbunden. Die leichten Meßschwankungen wurden so völlig beseitigt.

In nicht klimatisierten Räumen wird die Verwendung solcher Luftsäcke nicht zu umgehen sein, da hier die Temperatur- und Feuchtigkeitsschwankungen viel größer sind und sich entsprechend stärker auf die angezeigte Dampfdruckdifferenz auswirken. Änderungen der Luft-feuchtigkeit im Versuchsraum beeinflussen die Sackluft jedoch nicht, was die Auswertung und Interpretation der Meßwerte sehr erleichtert.

In der Literatur reichen die Größenangaben für die perspiratio insensibilis von etwa 5-30 g/h x m². Auf das Meßgerät bezogen entsprechen diese Werte bei einer Meßfläche von 38 cm² und einer Strömungsgeschwin-digkeit von 30 l/h einer Dampfdruckdifferenz von ca. 0,7-3,2 Torr. Zum Eichen der Anlage sind also zwei Gase nötig, deren Dampfdruckdifferenz bei einer bestimmten Temperatur konstant in diesem Bereich liegt.

Dazu eignen sich gesättigte Lösungen von Natriumacetat (Na-Ac) und Natriumbromid (Na-Br), die bei einer Temperatur von 20°C einen Dampfdruck von 13,2 bzw. 10,1 Torr aufweisen. Die Dampfdruckdifferenz beträgt also 3,1 Torr (6).

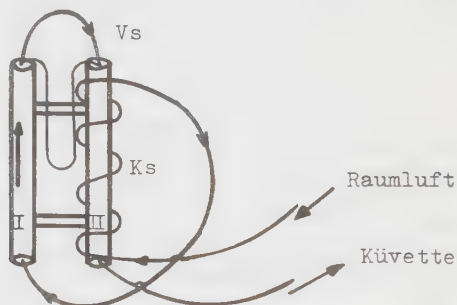
Im Rahmen der Problemstellung ergab sich die Aufgabe, eine Eichenanlage zu bauen, die es ermöglicht, daß die Gase unter den definierten Bedingungen in die Küvetten befördert werden.

C.) Ergebnisse

I.) Überprüfung und Verbesserung der Apparatur

Zunächst wurde versucht, eine Lösung in einem von E. Bauer (7) übernommenen Eichsystem zu finden.

Bei dieser Methode sind die gesättigten Lösungen von Na-Ac und Na-Br in je einem Kupferzylinder von etwa 8 cm Länge und 2,5 cm Durchmesser untergebracht. Diese sind fest miteinander verbunden und luftdicht abgeschlossen. Um sie auf der erforderlichen Temperatur von 20°C zu halten, befinden sie sich in einem mit Wasser gefüllten Behälter, der mit einem Thermostat versehen ist.



Die Luft aus dem Versuchsraum tritt, nachdem sie eine Kupferspirale Ks zur Angleichung an die Wassertemperatur durchlaufen hat, von unten in den Zylinder I ein. In diesem befindet sich die gesättigte Salzlösung -Na-Ac bzw. Na-Br- welche von der Raumluf durchströmt wird. Über den Verbindungsschlauch Vs gelangt die Luft in den Zylinder II, der mit Watte angefüllt ist. Diese soll durch den Luftstrom mitgerissene, kleinste Salzlösungstropfen aufhalten und dadurch eine Beeinflussung der Messwerte verhindern.

Das war jedoch trotz einiger Änderungen nicht zu erreichen.

So wurde der Verbindungsschlauch U-förmig geführt (vgl.

Skizze S. 10) in der Hoffnung, daß sich die Partikel an der tiefsten Stelle sammeln würden. Doch auch durch zusätzlich in diesen Schlauch eingeführte Watte ließ sich nicht vermeiden, daß die Watte im zweiten Zylinder allmählich feucht wurde und sich Salzkristalle in dem zur Küvette führenden Schlauch absetzten. Da aber hier eine andere Temperatur herrschte als 20°C , änderte sich der Dampfdruck und damit der Meßwert. Auch eine Verkürzung des Schlauches zur Verringerung des Temperaturgefälles brachte keine nennenswerte Besserung.

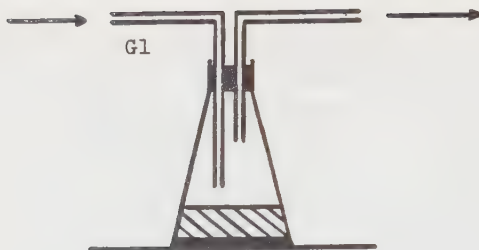
Die Verfälschung des Dampfdruckwertes wurde durch das Anbringen einer spiraligen Heizung an diesem Schlauch bestätigt: bei Einschaltung der Heizung wurde der Ausschlag des Registriergerätes größer, weil die kondensierten Salzlösungstropfen sich durch die erhöhte Temperatur verflüchtigten. Eine dauernd eingeschaltete Heizung hätte eine erneute Kondensation wohl größtenteils verhindern können, wenn man von den kurzen Schlauchstücken absieht, die im URAS selbst verlaufen und deshalb nicht beheizt werden können. Doch von den PVC-Schläuchen war zwar der Schmelzpunkt bekannt (ca. 70°C), nicht aber ihre Reaktion auf langdauernde Erhitzung.

Weitere Unsicherheitsfaktoren brachten die Größe und die Form der Kupferzylinder mit sich, die die erforderliche Einhaltung einer konstanten, senkrechten Stellung im Wasserbehälter sehr erschwerten.

Aus diesen Gründen war es unmöglich, exakte Eichwerte zu ermitteln.

1.) Bau der Eichanlage

Die Kupferzylinder wurden gegen 200 ccm-Erlenmeyer-Kolben mit geschliffenem Hals ausgetauscht. Zur völligen Abdichtung wurde um den Verschlusskopf eine dünne Schicht Kautschuk Kitt gelegt. Die Kolben wurden mit den gesättigten Lösungen Na-Ac bzw. Na-Br, die einen Bodensatz von ca. 1cm Höhe aufwiesen, soweit gefüllt, daß das Glasrohr



G1 (s.o.), durch das die Luft einströmte, ca. 2cm oberhalb des Lösungsspiegels stand. Die Lösungen wurden nun nicht mehr durchströmt, sondern nur noch überströmt. (Vgl. schemat. Versuchsanordnung S. 16)

Um sicherzustellen, daß die von den Kolben in die Küvetten geführte Luft den über den Lösungen herrschenden, konstanten Dampfdruck von 13,2 bzw. 10,1 Torr aufwies, wurden für die Dauer des Eichversuches die beiden Luftströme in einem geschlossenen Kreissystem über die Lösungen geführt. Dieses steht nur zum Druckausgleich mit dem Raum in Verbindung (vgl. S. 16).

Um die Kolben wurden Ringe aus leicht biegsamem Lötzinn gelegt, um dem relativ starken Auftrieb entgegenzuwirken und so einen festen Stand zu erreichen.

Wie sich zeigte, haben Gummischläuche die Eigenschaft, die beim Eichversuch durchströmenden Gase zu absorbieren und diese dann an das nachfolgende Meßgas wieder abzugeben. Obwohl es sich dabei nur um verschwindend geringe Mengen handelt, wird das Meßergebnis beeinflusst. Sie wurden deshalb durch Schläuche aus PVC mit einem Durchmesser von 0,5 cm und 1 mm Wanddicke ersetzt, welche teilweise schon eingebaut waren und die nicht die beschriebene Reaktion zeigten.

Durch diesen Umbau der Eichanlage wurden die Schwierigkeiten völlig behoben. Stichproben mit eingeschalteter Heizung ergaben keine Änderungen der Meßwerte mehr.

Die Empfindlichkeit des Registriergerätes wurde nun im vierten Meßbereich des Kompensationsverstärkers bei

einer Lösungstemperatur von 20°C auf 3,1 Torr = 3,1 Skalenteile (vgl. S.7) eingestellt. Dieser Wert wurde auch bei Laufzeiten von über zwei Stunden genau eingehalten.

Da aus der vorliegenden Literatur nur die Dampfdruckwerte bei 20°C von Na-Ac und Na-Br zu ersehen waren, hätten die Lösungen immer auf dieser Temperatur gehalten werden müssen, um die vor den Versuchen notwendige Eichung durchführen zu können. Um das zu vermeiden, wurde eine Eichkurve ermittelt, welche die Dampfdruckdifferenz der beiden Lösungen zwischen 20 und 25°C anzeigte.

2.) Ermittlung der Eichkurve

Zu diesem Zweck wurde das Wasser des Behälters, in dem sich die Erlenmeyer-Kolben befanden, langsam erwärmt, in zwanzig Minuten um jeweils 1°C . Die entsprechenden Dampfdruckdifferenzen wurden fortlaufend durch das Registriergerät angezeigt. Als jedoch bei einer Stichprobe das Wasser über längere Zeit auf einer bestimmten, konstanten Temperatur gehalten wurde, stellte sich heraus, daß die Erwärmung der Lösungen der des Wassers etwas nachhinkte: bevor sich das Registriergerät auf den konstanten Wert einstellte, erfolgte noch ein geringer Anstieg, bis die Lösungen die gleiche Temperatur erreicht hatten wie das Wasser. Deshalb wurden die jeweiligen Wassertemperaturen einige Zeit konstant gehalten, bevor der entsprechende Dampfdruckwert abgelesen wurde.

Die Mittelwerte aus vier vorgenommenen Eichversuchen ergaben innerhalb der Meßgenauigkeit eine Gerade: bei einer Temperatursteigerung von $0,5^{\circ}\text{C}$ erhöht sich die Dampfdruckdifferenz um jeweils 0,1 Torr (vgl. Diagramm S.36 und Diskussion S.32)

Wie bereits erwähnt war der Versuchsraum vollklimatisiert, so daß also immer unter den gewünschten konstanten Feuchtigkeits- und Temperaturbedingungen

gearbeitet werden konnte. Da die Klimatisierung gleichmäßig den ganzen Raum betrifft, können diese Bedingungen exakt bestimmt und an einem mit der Klimaanlage gekoppelten Hygrometer sowie einem Thermohygrographen abgelesen werden.

Um in nicht klimatisierten Räumen die wechselnde Wasserdampfspannung berücksichtigen zu können, bietet die Anlage eine Möglichkeit, diese genau zu registrieren. Zu diesem Zweck wird die Dampfdruckdifferenz der in die Plastiksäcke gepumpten Raumluft und der Luft gemessen, welche die Na-Ac-Lösung überstreicht. (Diese muß dann allerdings konstant auf 20°C gehalten werden. Denn aus der ermittelten Eichkurve ergeben sich nur die Dampfdruckdifferenzen der beiden Gase, nicht aber der jeweilige Dampfdruck von Na-Ac bzw. Na-Br.) Aus dem bekannten Dampfdruck von 13,2 Torr und der Raumtemperatur kann leicht auf die herrschende relative Luftfeuchtigkeit geschlossen werden. Dabei wird die Feuchtigkeit der Luft bestimmt, die während des darauffolgenden Versuches die Hautkammer ventiliert.

3.) Versuchsablauf

Um die Anlage versuchsbereit zu machen, wurde folgendermaßen vorgegangen:

1.) Nullpunkt-Einstellung:

durch beide Küvetten wird Sackluft gepumpt, es liegt also keine Dampfdruckdifferenz vor. Der Ausschlag des Registriergerätes wird durch eine Abgleichblende auf Null gebracht.

2.) Endpunkt-Einstellung:

die Eichgase werden durch die Küvetten geleitet. Dann wird die der jeweiligen Lösungstemperatur entsprechende Dampfdruckdifferenz, die aus der ermittelten Eichkurve abgelesen wird, mittels der Verstärkerempfindlichkeit

am Registriergerät eingestellt.

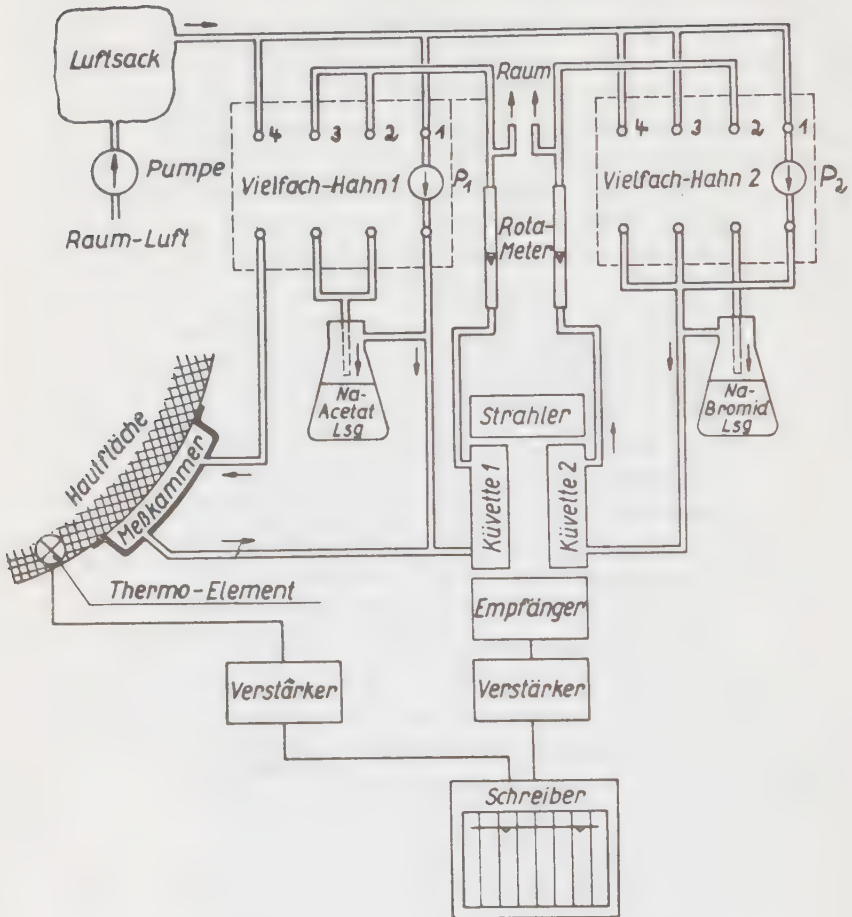
ad 2.) Da die Temperatur der Lösungen, bedingt durch die konstanten klimatischen Verhältnisse, sich nicht änderte, blieb auch die Dampfdruckdifferenz gleich. Folglich stellte sich immer derselbe, konstante Wert ein, so daß sich also das Einstellen meist erübrigte. Es ist jedoch vorgekommen, daß das NH_3 ganz allmählich aus dem Empfänger entwich und dadurch die Empfindlichkeit langsam nachließ. Deshalb mußte bei jedem Eichversuch trotz gleichbleibender Lösungstemperatur etwas nachgestellt werden. Nach dem Einbau eines neuen Empfängers war das nicht mehr nötig.

3.) Trifft nur für nicht klimatisierte Räume zu: Bestimmung der rel. Luftfeuchtigkeit der Sackluft (vgl. S. 14).

4.) Der eigentliche Versuch: die Messung der Hautwasserabgabe. Die in Torr angezeigte Dampfdruckdifferenz entspricht unmittelbar der von der Meßstelle abgegebenen Wasserdampfmenge (vgl. S. 24, Umrechnung von Torr in gebräuchlichere Größen). Parallel dazu wird die Hauttemperatur der Meßstelle registriert.

Zur Durchführung von Punkt 1.) und 2.) werden ca. sechs Minuten benötigt, von Punkt 3.) weitere drei Minuten.

4.) Schematische Versuchsanordnung



Aus dieser Zeichnung geht der Verlauf der Luftströme in den verschiedenen Stellungen, die den Punkten 1.) bis 4.) entsprechen, hervor. Er wird reguliert durch einen Verteilerhahn, der speziell für diesen Zweck gebaut wurde und die Vielfachhähne 1 und 2 zusammenfaßt.

Durch Drehen des Verteilerhahnes werden die Stellungen 1 bis 4 eingeschaltet. In der Zeichnung auf S. 16 steht die Anlage in Stellung 1 = Nullpunkteinstellung. Das geht aus der Lage der eingezeichneten Aquariumsdurchlüfter P_1 und P_2 hervor (Fa. Rainer Stüwe, Berlin, Hydraxon-Selecta 60), durch die sich die Luftstromstärke stufenlos regeln läßt. Diese wird von zwei Rotametern hinter den Küvetten gemessen.

5.) Bau der Meßkammern

Es wurden sechs Meßkammern verschiedener Größe - von 15 bis 60 cm² - aus Gummi, sowie zwei Plastikkammern von je 50 cm² gebaut, davon eine gewölbt für Versuche an gebogenen Hautflächen. Das verwendete Material hatte keinen Einfluß auf die Meßwerte.



Sämtliche Kammern sind oval geformt und 6 mm hoch. Um eine Berührung der Kammerdecke mit der Haut zu vermeiden, wurden zwei kleine Gummknöpfe Gn gleicher Höhe eingeklebt, die bei der Bestimmung der Kammerfläche berücksichtigt wurden. Der Kammerrand ist grabenartig ausgehoben und mit Kautschuk Kitt gefüllt, der sich als bestes Abdichtungsmittel erwiesen hat. Die Kammer wird mit einer oder auch mehreren Gummimanschetten an der Meßstelle befestigt.

Die Gummikammern haben sich sehr gut bewährt, vor allem wegen ihrer großen Anschmiegsamkeit. Da diese den Plastikkammern fehlt, sind sie nicht so gut geeignet.

Die Meßkammern werden durch die Aquariumsdurchlüfter ventiliert. Für die Versuche wurde eine Luftstromstärke von 30 l/h gewählt. Dieser Wert ist der günstigste Kompromiß zwischen den vier Faktoren, die bei der Wahl der Strömungsgeschwindigkeit berücksichtigt werden müssen:

- 1.) der Meßempfindlichkeit des URAS I
- 2.) der Trägheitslosigkeit der Anlage
- 3.) der Verzögerung der Meßanzeige und
- 4.) der Beibehaltung der physiologischen Verhältnisse in der Kammer.

Hierzu wie auch zum Bau der Meßkammer wird im Diskussionsenteil ausführlich Stellung genommen.

II.) Erweiterung der Anlage

(Vgl. Zeichnung auf S. 19)

Mit der geschilderten Versuchsanordnung arbeitete die Anlage einwandfrei. Um die Durchführung von zwei Parallelversuchen zu ermöglichen und den Ablauf einer Versuchsserie zu beschleunigen, wurde ein Umbau vorgenommen.

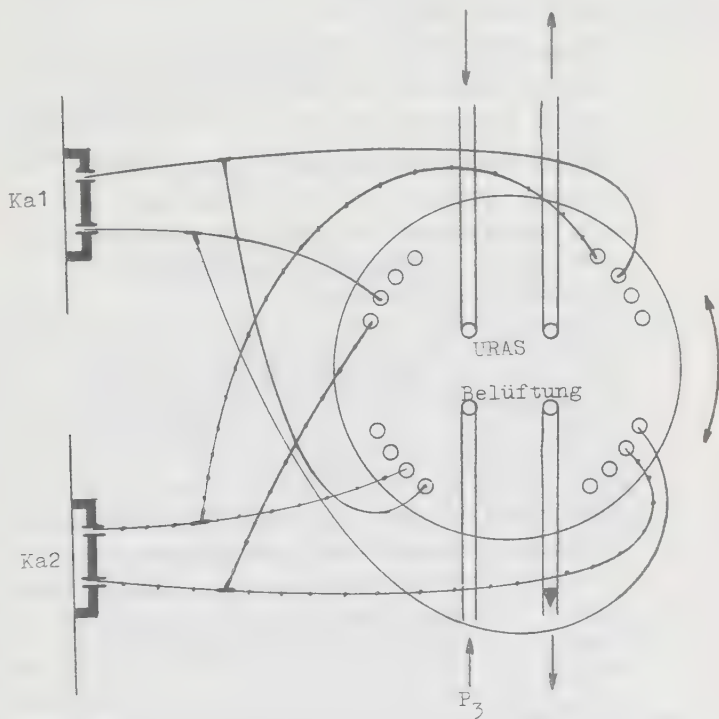
Zwischen dem Vielfachhahn 1 und der Küvette 1 wurden für die Stellung 4, in der die Hautwasserabgabe gemessen wird, ein weiterer Verteilerhahn, ein 3. Rotameter sowie ein 3. Aquariumsdurchlüfter installiert, welcher ebenfalls mit den Plastiksäcken verbunden wurde.

Mit Hilfe von Y-Verbindungsstücken aus Glas wurden nun zwei Hautkammern (Ka1 und Ka2) so mit dem neuen Verteilerhahn verbunden, daß eine Kammer -belüftet vom Aquariumsdurchlüfter P_1 - mit dem URAS zur Messung der Hautwasserabgabe verbunden war, während die andere Kammer nur von P_3 ventiliert, die Luft aber an den Raum abgegeben wurde. Durch Drehen des Verteilerhahnes werden die Rollen der Kammern vertauscht:

Stellung I: Ka1 — URAS
Ka2 — nur Belüftung

Stellung II: Ka1 — nur Belüftung
Ka2 — URAS

Da immer nur eine Kammer mit dem URAS verbunden ist, erfolgt die Registrierung entsprechend den Umschaltungen abwechselnd für die beiden Meßstellen.



Die physiologischen Verhältnisse stimmen in beiden Meßkammern überein, da diese völlig gleich gebaut sind und von der gleichen Luftstromstärke von 30 l/h ventiliert werden.

Wie aus der Zeichnung ersichtlich ist, können noch zwei weitere Kammern an den Verteilerkopf angeschlossen

werden. Es können in einer Versuchsfolge also vier Meßstellen abwechselnd untersucht werden, wobei es gleichgültig ist, ob diese bei einer oder bei mehreren Versuchspersonen liegen.

Die Messung der Hauttemperatur wird durch die Umschaltungen natürlich nicht beeinflusst.

Bei Messungen z.B. an beiden Unterarmen wird zweckmäßig folgendermaßen vorgegangen:

- 1.) Messung der normalen Hautwasserabgabe am rechten Unterarm. Währenddessen wird die zweite Meßkammer am linken Unterarm befestigt.
- 2.) Umschaltung auf die zweite Kammer, also Messung der normalen Hautwasserabgabe des linken Unterarms. Gleichzeitige Behandlung des rechten Unterarms, je nach Art des Versuches -z.B. ein Bad.
- 3.) Umschaltung auf die erste Kammer, wo nun die durch die Behandlung geänderte Hautwasserabgabe des rechten Unterarms gemessen wird. Gleichzeitig wird der linke Unterarm entsprechend behandelt.
- 4.) Sobald der weitere Verlauf der Registrierkurve vorausszusehen ist, was je nach Art des Versuches 10-15 Minuten dauert, wird auf die zweite Meßkammer umgeschaltet. Von nun an etwa alle 10 Minuten abwechselnde Registrierung.

Bei einer Versuchsdauer von 90 Minuten pro Versuch verkürzt sich die Zeit für zwei Versuche um etwa 70 Minuten. Je länger die Versuche dauern, umso größer wird natürlich der Zeitgewinn.

III.) Physiologische Versuche zur Untersuchung der perspiratio insensibilis.

Bei den Versuchen wurde darauf geachtet, daß alle Faktoren, welche die Hautwasserabgabe beeinflussen, wie z.B. die klimatischen Verhältnisse der Umgebung, Tageszeit sowie Kleidung und Alter der Versuchsperson, möglichst konstant gehalten wurden. (Ausführliche Angaben über diese Faktoren s. (8,9))

Eingehendere Versuche mit dieser Anlage wurden von F. Bundesmann (10) durchgeführt.

Es wurden untersucht:

1.) Die Abhängigkeit der angezeigten Hautwasserabgabewerte von:

- a.) der Strömungsgeschwindigkeit und
- b.) der Größe der Meßkammer.

Bei diesen Versuchen können die Vorteile der umgebauten Anlage nicht ausgenutzt werden: da sich die normale Hautwasserabgabe bei den meisten Versuchspersonen an identischen Extremitätenstellen (z.B. an den beiden Unterarmen) voneinander unterscheidet und auch direkt nebeneinander liegende Meßstellen eine verschiedene Hautwasserabgabe aufweisen können, ist eine Umschaltung zwecklos. Die Kammern müssen also nacheinander auf dieselbe Hautstelle gelegt werden.

Es wurde bei einer Raumtemperatur von $26,0^{\circ}\text{C}$ und 37 % relativer Luftfeuchtigkeit gemessen, und zwar an der proximalen Seite des linken Unterarms. Diese Stelle neigt nicht zu emotionellem Schwitzen, hat eine mittlere Schweißdrüsendichte und ist fast unbehaart. Die Hauttemperaturen lagen zwischen $32,4$ und $33,3^{\circ}\text{C}$.

Als Meßkammern wurden drei Gummikapseln von 25 und 50 sowie von 38 cm^2 verwendet (vgl. S. 17). Die Werte für die beiden ersteren wurden bei derselben Versuchs-

person ermittelt.

Ergebnis:

cm ²	(l/h)	Torr
25	24	0,74
	30	0,62
	60	0,36
50	24	1,41
	30	1,3
	60	0,83
38	15	1,1
	30	1,1
	45	0,8

1. Versuchsperson

2. Versuchsperson

Aus den gemessenen Werten ergibt sich:

Der Ausschlag des Registriergerätes bei der Messung der Hautwasserabgabe ist proportional der Kammergröße und umgekehrt proportional der Strömungsgeschwindigkeit.

Durch eine bestimmte Änderung der Luftstromstärke ließen sich auch extreme Hautwasserabgabe-Werte registrieren. Einfacher ist aber die Umschaltung auf einen anderen Wertebereich des Amplifikationsverstärkers. (Vgl. S. 6)

2.) Messung der normalen Hautwasserabgabe:

Diese Versuche wurden bei drei Männern und zwei Frauen unter gleichen Bedingungen durchgeführt.

Versuchsdauer: 60 Minuten

Meßstelle: linker Unterarm

Meßkammer: 38 cm²

Ström.-Geschw.: 30 l/h

Hauttemperatur: 32,0 - 33,2°C

Raumtemperatur: 26,0°C

rel. Feuchte: 40 %, was einem Dampfdruck von 10,1 Torr entspricht.

Bei diesen klimatischen Verhältnissen hatten die Versuchspersonen, die normal bekleidet auf einer Liege ruhten, ein indifferentes Wärmegefühl.

Ergebnis:

Nach etwa vier Minuten stellten sich Werte ein, die dann für die Dauer des Versuches konstant blieben. Bei einer Versuchsperson sank die Hautwasserabgabe während der Meßstunde um fast 10 % ab, obwohl sich ihr Wärmeempfinden nicht geändert hatte. Die Ursache konnte nicht sicher geklärt werden. Vielleicht hatte sich eine ca. zwei Stunden vor dem Versuch geleistete körperliche Arbeit in dieser Weise ausgewirkt. Nebenbei sei vermerkt, daß ein Lachen der Versuchsperson eine kurzfristige Erhöhung der Hautwasserabgabe bis zu 300 % bewirkte.

Es fiel auf, daß die Wasserdampfabgabe sehr von der Hauttemperatur abhing: wurde diese durch lockeres Auflegen eines Wollpullovers auf die Meßkammer um etwa 1,5°C erhöht, stieg die Hautwasserabgabe um durchschnittlich fast 10 % an. Nach der Dampfdrucktabelle für Wasserdampf erhöht sich der Sättigungsdruck bei einer Steigerung der Temperatur von 32,0 auf 33,5°C von 35,5 auf 38,8 Torr, was einer Zunahme von 9,3 % entspricht. Ob hier ein direkter, gesetzmäßiger Zusammenhang besteht, kann im Rahmen dieser Arbeit nicht genauer untersucht werden.

Es ist noch hinzuzufügen, daß die relative Luftfeuchte während des Versuches konstant blieb. Die Schwitzgrenze, die bei etwa 36°C liegt, wurde bei keiner Versuchsperson erreicht. (Wenn die Hauttemperatur so hoch ansteigt, reagiert der Körper mit einer enormen Zunahme der Hautwasserabgabe, um eine weitere Temperaturerhöhung zu verhindern (11)).

3.) Umrechnung von Dampfdruck (Torr) auf absol.

Feuchte ($\text{g/m}^2 \times \text{h}$):

Die erhaltenen Dampfdruckunterschiede zwischen Zu- und Ableitung der Meßkammer schwanken zwischen 0,8 und 3,1 Torr. Nimmt man den Durchschnitt von 2 Torr an, so erhält man für die Umrechnung von Dampfdruck (Torr) auf absolute Feuchte ($\text{g/m}^2 \times \text{h}$) folgende Größen:

Formel: $a = K(t) \times e (\text{g/m}^3)$

a = absolute Feuchtedifferenz vor und hinter der Meßkammer = absolute Feuchtigkeitszunahme (g/m^3)

e = Dampfdruckdifferenz = 2 (Torr)

$K(t)$ = temperaturabhängige Umrechnungskonstante

$K(26^\circ\text{C}) = 0,965 (\text{g/m}^3 \times \text{Torr})$

Bei einer Feuchtedifferenz $a (\text{g/m}^3)$ beträgt die Wassermenge W , die sich in der stündlich vorbeigeführten Luftmenge $L (\text{m}^3/\text{h})$ befindet:

$W = a \times L (\text{g/h})$

Im vorliegenden Fall also:

$L = 30 (\text{l/h}) = 0,03 (\text{m}^3/\text{h})$

$W = 0,965 \times 2 \times 0,03 = 0,0579 (\text{g/h})$

Diese Wasserdampfmenge wurde von 38 cm^2 Hautfläche abgegeben. Umgerechnet auf 1 cm^2 ergibt sich als spezifische Wasserdampfabgabe w :

$w = \frac{W}{F} (\text{g/h} \times \text{cm}^2)$

$w = \frac{0,0579}{38} (\text{g/h} \times \text{cm}^2)$

$w = 0,001524 (\text{g/h} \times \text{cm}^2)$
=====

Das entspricht:

$w = 15,24 (\text{g/h} \times \text{m}^2)$
=====

oder: $w = 0,0254 (\text{mg/min.} \times \text{cm}^2)$
=====

Diese Zahlen liegen ungefähr in der Mitte der in der Literatur für diese Meßstelle angegebenen Werte, die bei einem Dampfdruck im Versuchsraum von 10 Torr ermittelt wurden.

4.) Vergleichswerte:

E. Heerd/K. Ohara (12):	0,0118	(mg/min. x cm ²)
K. Pirlet (13):	0,015	"
R. Thauer (14):	0,037	"
P. Webb (15):	0,01	"
D. Kerslake (16):	0,017 - 0,022	"
A.G.R. Whitehouse (17):	0,02 - 0,028	"

5.) Diskussion

1.) Gegenüberstellung verschiedener Meßmethoden

Von den zahlreichen, verschiedenartigen Systemen, die zur Messung der perspiratio insensibilis angewandt wurden, haben sich die Kapselmethode als am besten geeignet erwiesen. Hierbei beschränkt sich die Untersuchung auf kleinere Hautareale.

Es ist schon lange bekannt, daß selbst nebeneinander liegende Hautstellen bezüglich der Hautwasserabgabe verschieden auf den gleichen Reiz reagieren. Zudem ist es praktisch unmöglich, über großen Meßflächen einheitlich das gleiche Mikroklima zu schaffen und damit die wichtigste Voraussetzung für exakte Messungen zu erfüllen. So erhält man bei Ganzkörpermessungen, wie sie z.B. A. Schwenkenbecher (18) und in neuerer Zeit R. Thauer, G. Zöllner und W. Kaufmann (19,20) durchgeführt haben (letztere maßen unter Grundumsatzbedingungen mit Hilfe einer Sauter-Waage den Gesamtgewichtsverlust der Versuchsperson durch die Hautwasserabgabe), nur einen räumlichen und zeitlichen Mittelwert der Gesamthautwasserabgabe.

Auch d i e Kapselmethode n, bei denen eine Messung jeweils erst nach einem bestimmten Zeitraum durchgeführt wird, beschränken sich auf die Ermittlung eines Durchschnittswertes, in dem jegliche Schwankung verschwindet.

Regelsberger (21) z.B. arbeitete nach einem gravimetrischen Verfahren mit einer nicht ventilierten Hautkapsel, in welcher ein Absorbens die vom Hautareal abgegebene Feuchtigkeit aufnahm. Nach jeweils 30 Minuten wurde die Kammer von der Meßstelle entfernt und eine Wägung vorgenommen. Abgesehen davon, daß hierbei leicht Wasserdampf entweichen kann, was den Meßwert verfälscht, ist es natürlich ausgeschlossen, kurz andauernde Schwankungen der perspiratio insensibilis zu registrieren.

Die Kapselmethode n, welche eine fortlaufende Messung und damit die Ablesung zu jedem Zeitpunkt des Versuches ermöglichen, unterscheiden sich in einem Grundprinzip des Meßsystems voneinander: ein Teil arbeitet mit ventilierter-, ein anderer mit nicht ventilierter Meßkammer.

II.) Die wichtigsten Einwände gegen die ventilierte Kammer betreffen:

- 1.) die starke Verzögerung der Anzeige, bedingt durch das träge Einstellen der Feuchtemesser,
- 2.) die Störung des Mikroklimas über der Meßstelle durch die Ventilation, sowie
- 3.) die schwierige Konditionierung der Ventilationsluft.

ad 1.) Bei unserer Anlage beruht die Verzögerung der Anzeige nicht auf der Trägheit des Feuchtemessers, also des URAS I. Denn diese ist dem Ablauf der elek-

trischen Vorgänge gleichzusetzen und damit vernachlässigbar klein. Die Verzögerung setzt sich zusammen aus:

- 1.) der Zeit, welche die Luft zur Passage der Leitungsstrecke, d.h. von der Auslaßöffnung der Meßkammer bis zur Einlaßöffnung der Küvette, benötigt.
- 2.) der Zeit, die vergeht, bis die Küvette vollständig mit Luft angefüllt ist.
- 3.) der Trägheit des Registriergerätes, die etwa 0,5 Sekunden ausmacht.

Von Bedeutung sind vor allem die ersten beiden Punkte.

Bei einem Schlauchdurchmesser von 0,5 cm und einem Volumendurchsatz V von 30 l/h beträgt die Strömungsgeschwindigkeit c der Luft im Schlauch nach der Kontinuitätsgleichung der Strömungsmechanik abgeleitet:

$$c = \frac{V}{F} = \frac{m}{s} \times \frac{1}{F} \quad \left(\frac{\text{kg/sec.}}{\text{kg/m}^3} \times \frac{1}{\text{m}^2} \right)$$

Die Dichteänderung ist vernachlässigbar klein.

$$F = \pi \times r^2 = 0,25 \times 3,14 = 0,196 \quad (\text{cm}^2)$$

$$V = 30 \text{ (l/h)} = 500 \text{ (cm}^3\text{/min.)} = 8,3 \text{ (cm}^3\text{/sec.)}$$

$$c = 42,5 \text{ (cm/sec.)}$$

=====

Das entspricht bei einer Schlauchlänge von 2 m einer Zeit von knapp 5 Sekunden.

Punkt 2.) wird entsprechend ermittelt: die Küvette hat einen Radius von 1,2 cm, woraus sich ein Wert von 4,522 cm² für F ergibt. Da V konstant bleibt, beträgt danach die Strömungsgeschwindigkeit in der Küvette 1,84 cm/sec. Bei einer Länge von 10 cm sind etwa

5,4 Sekunden nötig, um die Küvette mit Luft anzufüllen.

Daraus folgt, daß nach ca. 5,5 Sekunden (Punkt 1.) und Punkt 3.)) das Registriergerät auf eine Änderung der Hautwasserabgabe reagiert und daß nach weiteren 5,4 Sekunden diese Änderung 100 %ig angezeigt ist.

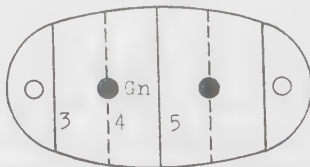
Die Dauer der Passage der Leitungsstrecke kann durch Verkürzen der Schläuche um 1 Meter auf die Hälfte herabgesetzt werden. Auch die Verwendung dünnerer Schläuche ist bei der niedrigen Strömungsgeschwindigkeit leicht möglich, woraus sich bei einem Schlauchdurchmesser von 0,25 cm eine nochmalige Halbierung der Passagedauer ergibt. Diese Maßnahmen werden in der Praxis jedoch kaum notwendig sein.

ad 2.) Ein häufig vorgebrachter Einwand gegen ventilierte Meßkammern ist die angebliche Störung des Mikroklimas, also des Temperatur- und Feuchtegefalles über der Meßstelle, durch die Ventilation. Dazu ist folgendes zu sagen:

Die Luft tritt mit einer Geschwindigkeit von 42,5 cm/sec. aus dem Schlauch in die ellipsenförmige Hautkammer ein. Nach der Kontinuitätsgleichung (vgl. S. 27) ergibt sich in der Kammer eine wesentlich geringere Strömungsgeschwindigkeit als im Schlauch: der Volumenauchsatz V bleibt konstant, der Querschnitt F ist jedoch größer geworden.

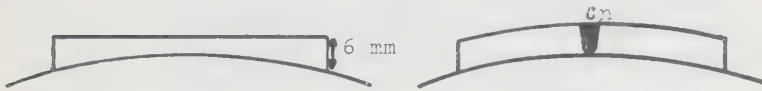
F setzt sich zusammen aus der Höhe der Kammer von 0,6 cm und einem Wert, der dem arithmetischen Mittel aus dem

Schema:



kleinen Ellipsendurchmesser = 5 cm und dem Querschnitt

von 3 cm vor der Ein- bzw. Auslaßöffnung entspricht und demnach 4 cm beträgt. Das sich ergebende Rechteck wird durch die Wölbung der Meßstelle = Armoberfläche verkleinert, was jedoch durch die Gumminoppen Gn,



die den Abstand zwischen Kammerdecke und Armoberfläche konstant halten, ausgeglichen wird (vgl. S. 17).

Es ergibt sich damit:

$$F = 0,6 \times 4 = 2,4 \text{ (cm}^2\text{)}$$

Daraus folgt angenähert die Durchschnittsströmungsgeschwindigkeit c in der Kammer (vgl. S. 27):

$$c = \frac{V}{F} = 3,47 \text{ (cm/sec.)}$$

$$c = 3,47 \text{ (cm/sec.)}$$

=====

Nach der Einteilung von Beaufort (22) fallen unter die Bezeichnung "Windstille" Strömungsgeschwindigkeiten bis 50 cm/sec. Von einem Sturm, dem der Körper bei Verwendung ventilierter Meßkammern ausgesetzt sein soll (vgl. (23) S. 238), kann also nicht die Rede sein. Dieser Wert ist so niedrig, daß die physiologischen Verhältnisse in der Meßkammer durch die Ventilation nicht geändert werden. Eine Bestätigung dafür sind die Versuche auf S. 22: selbst eine Verdoppelung des Volumendurchsatzes auf 60 l/h beeinflußt die perspiratio insensibilis nicht. Dagegen genügt bereits eine Menge von 15 l/h zum völligen Wegführen des Wasserdampfes.

ad 3.) Ein großer Vorteil der hier beschriebenen Apparatur wird darin gesehen, daß eine Konditionierung der Ventilationsluft nicht notwendig ist: da die Dampfdruckdifferenz gemessen und daraus auf die Hautwasserabgabe geschlossen wird (vgl. S. 2), kann zur Ventilation der Hautkammer unveränderte Raumluft verwendet werden. Innerhalb und außerhalb der Meßkammer herrschen die gleichen klimatischen Verhältnisse. Die Einstellung und Einhaltung konstanter, definierter Feuchte- und Temperaturwerte erübrigt sich. Das ist zur Erreichung physiologischer Verhältnisse und damit normaler, unbeeinflusster Hautwasserabgabe von großer Bedeutung. Auf die erhebliche Abhängigkeit der insensiblen Wasserabgabe von Feuchtigkeits- und Temperaturänderungen der umgebenden Luft ist schon in zahlreichen Arbeiten hingewiesen worden (z.B. 24,25,26). Wenn aber solche Änderungen zum Meßprinzip eines Gerätes gehören, ist dies von vornherein mit einem erheblichen Unsicherheitsfaktor belastet.

III.) Kritik anderer Meßprinzipien

E. Betz (27), bei dessen Gerät die Messung auf der feuchtigkeitsabhängigen elektrischen Leitfähigkeit von Halbleitern beruht, verwendet zur Ventilation der Meßkammer über CaCl_2 doppelt vorgetrocknete Luft. Dadurch wird das über der Meßstelle herrschende Feuchtegefälle enorm vergrößert. Die daraus resultierende Saugwirkung führt zu einer verstärkten Wasserabgabe, die nach einer gewissen Zeit bis zur völligen Entspeicherung geht.

Auch bei E. Pirlet (28), der mit einem thermoelektrischen Psychrometer die Wasserdampfspannung vor und hinter der Kapsel mißt, hat die Ventilationsluft einen bestimmten Dampfdruck, der hier dem Sättigungsdruck entspricht. Im Gegensatz zu E. Betz

kommt es zu einer Erniedrigung des normalen Feuchtegefälles, die sich in einer Rückstauung und damit einer erhöhten Speicherung von Wasser in der Haut auswirkt.

Obwohl H.H. Wagener (29) mit nicht ventilierter Kammer arbeitet, ist die Lage hier ähnlich. Seinem Meßsystem liegt die feuchtigkeitsabhängige Änderung eines Wechselstromwiderstandes in Form eines Lithiumchloridstreifens zugrunde. Mit der Zeit muß eine Sättigung der abgeschlossenen Kammerluft mit Feuchtigkeit erfolgen, parallel dazu nimmt die Hautwasserabgabe ab. Es kommt auch hier zur Stauung von Wasserdampf und Speicherung von Wasser.

In den drei angeführten Beispielen wird also nicht die normale, sondern die durch das künstlich geänderte Mikroklima beeinflusste perspiratio insensibilis gemessen, wobei sich die Verfälschung nach der Größe der Änderung des Feuchtegefälles richtet. Ist dieses verringert (Pirlet, Wagener), dann sinkt die normale Hautwasserabgabe ab. Ist es erhöht, so kommt es neben der normalen perspiratio insensibilis -und nur diese Größe wird ja eigentlich gesucht- zu einer zusätzlichen Wasserabgabe der Haut. Eine Trennung der beiden Größen -Wasserdurchgang und Wasserspeicherung bzw. Entspeicherung- bei der Registrierung ist aber nicht möglich, die Verfälschung besteht ebenso lange wie die Änderung des Feuchtegefälles andauert.

Auf die Ellipsenform der Meßkammern wurde schon hingewiesen (vgl. S. 17). Diese bringt neben der bequemen Befestigungsmöglichkeit auch strömungstechnische Vorteile mit sich: die Lage der Ein- und Auslaßöffnungen an den Enden des großen Durchmessers der Ellipse vermeidet plötzliche Querschnittsänderungen beim Übergang des Luftstromes vom Schlauch in die Kapsel. Dadurch wird die Bildung von Totraumwirbeln verhindert, die z.B. in einer viereckigen Kammer in den Ecken

entstehen würden. Diese Faktoren in Verbindung mit der niedrigen Strömungsgeschwindigkeit (vgl. S. 29) machen Wirbelbildungen, die das Meßergebnis registrierbar beeinflussen könnten, sehr unwahrscheinlich. Günstig ist ferner die fehlende Lage- und sehr geringe Bewegungsempfindlichkeit der Meßkammern, so daß auch von dieser Seite eine Beeinflussung der Meßgenauigkeit ausgeschlossen werden kann. Zudem wird dadurch die Durchführung der Versuche erleichtert und der Versuchsperson bleibt das krampfhaftes Einhalten einer bestimmten Stellung erspart. Das wiederum begünstigt ein konstantes, indifferentes Wärmegefühl.

Dagegen befindet sich z.B. bei E. Heerd und K. Ohara (23), welche die Hautwasserabgabe mit Hilfe einer Mikrowaage durch Absorptionsmittel bestimmen, das Meßsystem in der nicht ventilierten Kammer. Die daraus resultierende Erschütterungsempfindlichkeit ist so beträchtlich, daß sie selbst durch den Einbau einer sorgfältig austarierten Öldämpfung nicht beseitigt werden kann. Neben der Beeinflussung der Meßgenauigkeit ergibt sich hier als weiterer Nachteil das Problem, entscheiden zu müssen, ob angezeigte kurzzeitige Meßschwankungen durch diese Empfindlichkeit verursacht wurden oder auf Änderungen der Hautwasserabgabe beruhen.

Ein gewisser Nachteil der vorliegenden Anordnung könnte zunächst darin gesehen werden, daß die Richtigkeit der ermittelten Dampfdruckwerte von Na-Ac bzw. Na-Br zwischen 20 und 25°C (vgl. S. 13), mit denen die angezeigten Feuchtigkeitswerte durch die Eichung in direktem Zusammenhang stehen, vorausgesetzt wird. Die Berechtigung für diese Annahme konnte jedoch durch einfache Versuche nachgewiesen werden: das Registriergerät wurde nach erfolgter Nullpunkt-Einstellung auf die der Lösungstemperatur von 24°C entsprechende Dampfdruckdifferenz von 3,9 Torr (vgl. S.36) ein-

gestellt, dann die normale Hautwasserabgabe einer Versuchsperson gemessen. Inzwischen wurde die Lösungstemperatur durch den Thermostaten auf $22,0^{\circ}\text{C}$ gesenkt, die Messung unterbrochen und der URAS auf die Dampfdruckdifferenz von 3,5 Torr eingestellt. Danach wurde wieder die Hautwasserabgabe registriert: es stellte sich exakt der gleiche Wert wieder ein. Das gleiche Ergebnis brachte die Einstellung auf den der Literatur (6) entnommenen Wert von 3,1 Torr.

Das ganze Problem würde natürlich sehr vereinfacht, wenn es Lösungen gäbe, deren Dampfdruckdifferenz der erforderlichen Größe entsprechen würde und in dem benötigten Temperaturbereich konstant wäre. Die Dampfdruckdifferenz-Kurve von Na-Ac und Na-Br ist jedoch innerhalb der Meßgenauigkeit eine Gerade. Diese läßt sich daher leicht und genau bei der Eichung berücksichtigen.

IV.) Erweiterungsmöglichkeiten

Aus der Beschreibung der Messung der Hauttemperatur (vgl. S. 6) geht hervor, daß nicht exakt die Temperatur der Hautfläche gemessen wird, deren Wasserdampf-abgabe angezeigt wird. Obwohl bei Meßvergleichen keine Differenzen festgestellt wurden, könnte es für Versuche, bei denen die Hauttemperatur eine wichtige Rolle spielt, notwendig werden, daß die Messung innerhalb der Hautkammer vorgenommen wird. Technisch ist es leicht möglich, Temperaturfühler in der Kammer unterzubringen. Die dadurch bedingte Änderung der Meßfläche müßte natürlich berücksichtigt werden.

Mit dem hier beschriebenen Aufbau des Meßgerätes dürften die meisten Untersuchungen der perspiratio insensibilis durchzuführen sein. Für spezielle Versuche sind viele Erweiterungsmöglichkeiten gegeben. So können z.B. die Meßkammern mit Luft beliebiger Feuchtigkeit ventiliert werden, wenn Absorber oder Pfeuchte in die zuführenden Schläuche eingeschaltet

werden. Die Temperatur der durchströmenden Luft ist leicht zu ändern. Sie kann z.B. durch ein Thermo-element, welches in der Kammer-Einlaßöffnung befestigt wird, gemessen werden.

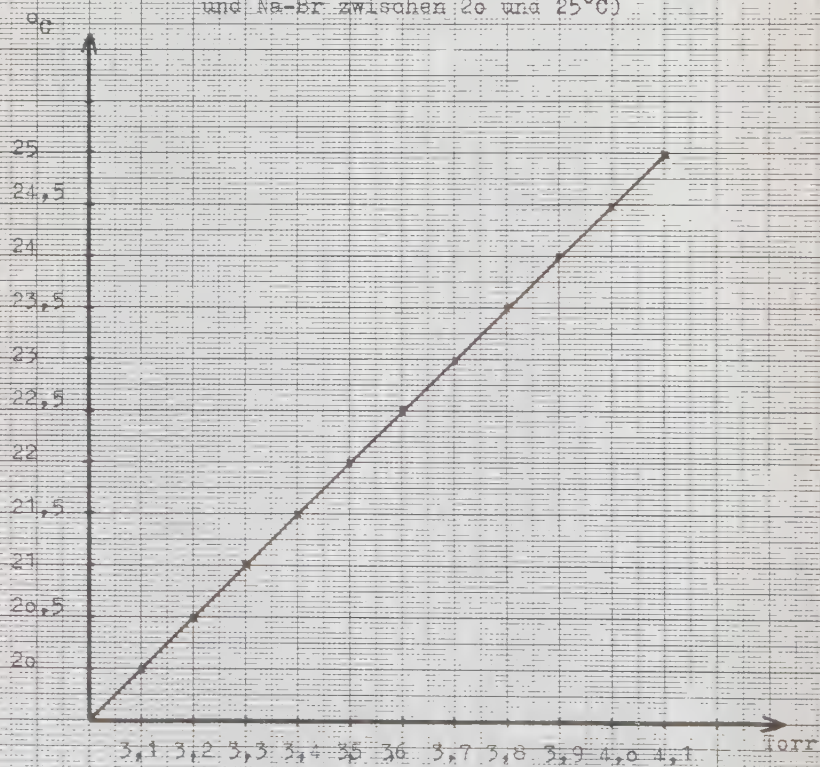
Durch solche oder ähnliche Maßnahmen werden auch Messungen unter extremen Bedingungen möglich, da -abgesehen von der Meßstelle- die Körperoberfläche im thermoindifferenten Bereich gehalten wird.

E.) Zusammenfassung

- 1.) Es wird der technische Aufbau einer Methode beschrieben, die es erlaubt, die perspiratio insensibilis beliebiger Hautareale fortlaufend zu messen.
- 2.) Das Meßprinzip beruht auf der Tatsache, daß sich die Absorption der Energie infraroter Strahlen nach der Konzentration des Wasserdampfes richtet. Zur Messung der perspiratio insensibilis wird die Dampfdruckunuteruschied zwischen normaler Raumluft und der Luft gemessen, die beim Durchströmen der Meßkammer den von der Haut abgegebenen Wasserdampf aufgenommen hat.
- 3.) Eine Konditionierung der Ventilationsluft ist überflüssig: es wird die normale Hautwasserabgabe untersucht und nicht, wie bei den meisten vergleichbaren Anlagen, die durch Temperatur- und Feuchteänderungen des Mikroklimas beeinflusste Hautwasserabgabe.
- 4.) Durch eine einfache Erweiterung der Anlage wurde es möglich, in einer Versuchsfolge vier Meßstellen abwechselnd zu untersuchen.
- 5.) Das Gerät arbeitet mit einer großen Empfindlichkeit und weist eine hohe Anzeige Konstanz und -geschwindigkeit auf, wodurch die Registrierung kurzzeitiger Schwankungen der Hautwasserabgabe ermöglicht wird. Bei normaler Versuchsdurchführung können Änderungen der perspiratio insensibilis von weniger als 3 % erfaßt werden. Dabei dauert es knapp 11 Sekunden, bis die Änderung 100 %ig registriert ist. Die Anlage ist leicht zu bedienen und innerhalb von 6 Minuten zu eichen; die Versuchsanordnung ist gut zu überprüfen.
- 6.) Anhand einiger physiologischer Versuche wird die Brauchbarkeit des Verfahrens nachgewiesen.
- 7.) Die Meßergebnisse werden mit dem Schrifttum verglichen.

Eichkurve

(= Dampfdruckdifferenzkurve von Na-Ac
und Na-Br zwischen 20 und 25°C)



1) Literaturverzeichnis

- (1) Büttner, K.: Diffusion of Water and Water Vapor Through Human Skin. J. Appl. Physiol. 6, 229-242, (1953)
- (2) Pinson, E.A.: Evaporation from Human Skin With Sweat Glands Inactivated. Amer. J. Physiol. 137, 492, (1942)
- (3) Schwenkenbecher, A., Handbuch der norm. und path. Physiol. 4, 741, (1928)
- (4) Heerd, E. u. Ohara, K.: Untersuchungen über die Wasserdampfabgabe kleiner Hautflächen beim Menschen. I. Die Abhängigkeit vom Wasserdampfdruck in der umgebenden Luft bei normaler Hauttemperatur. Pflüg. Arch. Physiol. 276, 38, (1962)
- (5) Rothman, S.: Physiology and Biochemistry of the Skin. Chicago, University of Chicago Press, 1954, p 26 ff. and p 233 ff.
- (6) Handbook of Chemistry and Physics. Cleveland/Ohio, Chemical Rubber Publishing Co., 43. Auflage 1961/62, p 2535.
- (7) Bauer, E.: persönliche Mitteilung (x)
- (8) Rothman, S.: Über den Einfluß einiger dermatotherapeutischer Grundsubstanzen auf die insensible Wasserabgabe der Haut. Arch. Derm. u. Syph. 131, 549-567, (1921)
- (9) Aschoff, J., in Landois - Rosemann, Lehrbuch der Physiologie, 347, (1960)
- (10) Bundesmann, F.: Messung verschiedener Einflüsse auf die Hautwasserabgabe mit Hilfe der Infrarot-Strahlen-Absorption. Med. Diss. München 1966 (x)
- (11) Zöllner, G., Thauer, R., Kaufmann, W.: Der insensible Gewichtsverlust als Funktion der

Umweltbedingungen. Die Abhängigkeit der Hautwasserabgabe von der Hauttemperatur bei verschiedenen Temperaturen und Wasserdampfdrücken der umgebenden Luft. Pflüg. Arch. Physiol. 260, 261-272, (1955)

- (12) Heerd, E. u. Ohara, K.: vgl. (4), Seite 39.
- (13) Pirlet, K.: Individuelle Unterschiede der Hautwasserabgabe und ihre Bedeutung für den Wärmehaushalt. Arch. Physikal. Ther. 11, 378-384, (1959)
- (14) Thauer, R. u. Zöllner, G.: Der insensible Gewichtsverlust als Funktion der Umweltbedingungen. Seine Abhängigkeit von dem Wasserdampfdruck der Luft im indifferenten Temperaturbereich. Pflüg. Arch. Physiol. 258, 58-71, (1953)
- (15) Webb, P. u. Garlington, L.N. u. Schwarz, M.J.: Insensible Weight Loss at High Skin Temperatures. J. Appl. Physiol. 11, 41-44, (1957)
- (16) Kerslake, D.: The Rate of Diffusional Water Loss Through Human Skin. J. Physiol. (Lond.) 127, p 18, (1955)
- (17) Whitehouse, A.G.R. u. Hancock, W. u. Haldeane, J.S.: The Osmotic Passage of Water and Gases Through the Human Skin. Proc. Roy. Society of London, B 111, 412-429, (1932)
- (18) Schwenkenbecher, A., vgl. (3)
- (19) Thauer, R. u. Zöllner, G. u. Kaufmann, W.: Der insensible Gewichtsverlust als Funktion der Umweltbedingungen. Der Anteil von Atmung und Haut an der Gesamtperspiratio. Pflüg. Arch. Physiol. 260, 1-23, (1954)
- (20) Thauer, R. u. Zöllner, G.: vgl. (14)
- (21) Regelsberger, Erg. inn. Med. 48, 125, (1936), zitiert aus (27)

- (22) Vogt, H.: Lehrbuch der Bäder- und Klimaheilkunde. Teil II, Verlag Julius Springer, Berlin, S. 699, (1940)
- (23) Heerd, E. u. Ohara, K.: Ein Gerät zur ununterbrochenen Messung der perspiratio insensibilis kleiner Hautflächen. Pflüg. Arch. Physiol. 272, 237-246, (1961)
- (24) Heerd, E. u. Ohara, K.: vgl. (4), S. 32-41
- (25) Zöllner, G. u. Thauer, R. u. Kaufmann, W.: vgl. (11)
- (26) Kaufmann, W. u. Thauer, R. u. Zöllner, G.: Der insensible Gewichtsverlust als Funktion der Umweltbedingungen. Der Wasserdampfdruck der Hautoberfläche und die Wasserdurchgangszahl der Haut in Abhängigkeit von Temperatur und Wasserdampfdruck der umgebenden Luft im thermoindifferenten Bereich. Pflüg. Arch. Physiol. 261, 189-198, (1955)
- (27) Betz, E.: Die kombinierte qualitative und quantitative Bestimmung der lokalen Hautwasserabgabe. Arch. f. Physikal. Ther. 4, 312-317, 7. Jahrgang, (1955)
- (28) Firlet, K.: Eine Methode zur fortlaufenden Registrierung der Hautwasserabgabe in kleinen Hautarealen. Pflüg. Arch. Physiol. 273, 182-189, (1961)
- (29) Wagener, H.-H.: Verfahren zur Messung der Wasserdampfabgabe der menschlichen Haut. Dermatologica 123, 277-287, (1961)
- (x) Aus dem Balneologischen Institut der Universität München. (Vgl. (7, 10)).

Autorenverzeichnis

Nr. im Lit.-Verz.

Aschoff, J.	(9)
Bauer, E.	(7)
Betz, E.	(27)
Bundesmann, F.	(10)
Büttner, K.	(1)
Garlington, L.N.	(15)
Haldane, J.S.	(17)
Hancock, W.	(17)
Heerd, E.	(4, 12, 23, 24,)
Kaufmann, W.	(11, 19, 25, 26)
Kerslake, D.	(16)
Ohara, K.	(4, 12, 23, 24)
Pinson, E.A.	(2)
Pirlet, K.	(13)
Regelsberger	(21)
Rothman, S.	(5, 8)
Schwarz, M.J.	(15)
Schwenkenbecher, A.	(3, 18)
Thauer, R.	(11, 14, 19, 20, 25, 26)
Vogt, H.	(22)
Wagener, H.-H.	(29)
Webb, P.	(15)
Whitehouse, A.G.R.	(17)
Zöllner, G.	(11, 14, 19, 20, 25, 26)

Herrn Dipl.-Phys. K. Dirnagl und Herrn Doz. Dr. H. Drexel
bin ich für die freundliche Überlassung des Themas und
die wertvollen Anregungen und Hinweise, sowie für die
Arbeitsmöglichkeiten in ihrem Institut, sehr dankbar.

G.) Lebenslauf

Am 8. Oktober 1939 wurde ich als Sohn des Dipl. Ing. Hermann Fricke und seiner Frau Marianne, geb. Dißmann, in Bochum geboren.

Ostern 1946 trat ich in die Volksschule Velen (Münsterland) ein, besuchte ab 1950 das Graf-Engelbert-Gymnasium in Bochum und ab 1956 den sprachlichen Zweig des Städtischen Gymnasiums Hohenlimburg. Hier machte ich am 4. März 1960 das Abitur.

Im Sommersemester des gleichen Jahres begann ich das Medizinstudium an der Ludwig-Maximilians-Universität München. Hier legte ich im April 1961 die naturwissenschaftliche, im Oktober 1962 die Ärztliche Vorprüfung ab und bestand im Dezember 1965 das Staatsexamen.

Abgesehen vom Sommersemester 1963 in Wien verbrachte ich meine gesamte Studienzeit in München.

Als Krankenpfleger arbeitete ich im September und Oktober 1960 am "Bergmannsheil" Bochum. Während des August und September 1963 sowie im März 1964 famulierte ich am Krankenhaus der Barmherzigen Brüder in München, im August 1964 am Landeskrankenhaus Villach (Österreich) und im April 1965 am Pathologischen Institut der Münchner Universität.



